

Recibido: 15 / 12 / 2007, aceptado en versión final: 22 / 12 / 2007

Dispersión secundaria de los metales pesados en sedimentos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín

Departamento de Lima

Secondary dispersion of heavy metals in stream sediments from Chillón, Rimac and Lurin rivers.
Dpto. of Lima

Hugo Rivera*, Jorge Chira*, Karla Zambrano**, Paolo Petersen**

RESUMEN

El estudio geoquímico-estadístico involucra catorce (14) metales-metaloides pesados As-Cd-Cr-Cu-Fe-Hg-Mo-Ni-Pb-Sb-Sn-V-W-Zn en sedimentos activos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Estos metales potencialmente tóxicos a la salud humana y de la biota, han sido intensamente estudiados en su fracción soluble y en el material en suspensión en las aguas, mas no así en el comportamiento de la fracción detrítica.

Se ha determinado en el río Rímac altos niveles de abundancia de Zn, Pb, As, W, Sn, Fe, Sb, Mo, Cd; en el río Chillón V, Cu, Ni, Hg y en el río Lurín, Cr. Comparando con los niveles establecidos en la Tabla Holandesa, el río Rímac está contaminado en As, Cu, Hg, Zn, y Sb, en el río Chillón As, Sn, Hg; y en el río Lurín, sólo en As, Sb. Con respecto a la dispersión secundaria de los metales se determinaron que en el curso inferior y medio se concentran la mayoría de los metales pesados, en los ríos Chillón y Rímac, no así en el río Lurín, en que la mayoría de los metales pesados no tienen buena dispersión y se concentran en su curso superior.

Asimismo, la evolución de la abundancia de estos metales con respecto a las litologías y edad geológica, tenemos en el Río Chillón, el Grupo Casma (Cretáceo); en el río Rímac, las formaciones Paleógenas; y en el río Lurín, los volcánicos Quilmana (Paleógeno-Neógeno) cuyos sedimentos aportan la mayoría de los metales pesados.

Palabras clave: Metales pesados, sedimentos de quebradas, dispersión, abundancia, correlación, evolución.

ABSTRACT

The geochemistry-statistical study involve fourteen heavy metals/metalloids As-Cd-Cr-Cu-Fe-Hg-Mo-Ni-Pb-Sb-Sn-V-W-Zn in stream sediments from Chillón, Rimac and Lurin rivers of Lima City. These are potentially toxic metals at health in a human populations and the biota had to be research on the solution and suspension fractions, but not the behaviour from the detritic material.

Have found in the Rimac river high levels of abundance Zn, Pb, As, W, Sn, Fe, Sb, Mo, Cd; in Chillón River V, Cu, Ni, Hg and in Lurin river, only Cr. At compare with the levels established in te Table Holland , the Rimac River is contaminated in As, Cu, Hg, Zn, y Sb, in Chillón river V, Cu, Ni, Hg and the Lurin river only As, Sb. According to the secondary dispersion of metales determined that lower and medium course of Chillón and Rimac rivers is concentrate lot of metals, but is not the same in Lurin river, because the metals have not an good dispersion. and concentrate in the upper course

Otherwise, the evolution of the metal abundances with respect litology and geological ages, we have in the Chillón River, the Group Casma, in the Rimac river the formations Paleogene and the Lurin river the volcanics Quilmana-Paleogene-Neogene, whose sediments supply of the most of the heavy metals

Keywords: Heavy metals, stream sediments, dispersion, abundance, correlation, evolution.

* Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail: hrivaram@unmsm.edu.pe

** Estudiantes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

I. INTRODUCCIÓN

El alcance del presente trabajo de investigación involucra el tratamiento estadístico de los valores de los metales pesados potencialmente tóxicos a la salud humana y animal (Smith, K; Huyck, H, 1998) en los ríos Chillón, Rímac y Lurín, en el departamento de Lima.

El objetivo general es determinar el nivel de abundancia, dispersión, correlación, contaminación y evolución de los metales pesados potencialmente tóxicos en los sedimentos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, así como para cada material geológico en la región seleccionada y la evolución de la abundancia de dichos metales con respecto al tiempo geológico.

Mediante el uso del software SPSS versión 13 se nos proporcionará la información para contrastar las interrogantes.

II. ÁREA DE ESTUDIO Y MUESTREO

El área de estudio se encuentra entre las coordenadas UTM: 89.28-86.18 y 2.64-3.36, comprendiendo los cuadrángulos geológicos de Lima, Chosica, Chancay y Lurín en el departamento de Lima (Fig. 1)

En esta área, INGEMMET colectó 280 muestras de sedimentos activos de los ríos Chillón, Rímac y Lurín con una densidad aproximada de una muestra

por cada 10 km² (Fig. 2) y colectadas en malla 200 (UNESCO, 1995) y analizadas por Espectrometría de masa (ICP-MS) por el método del Plasma Acoplado Inductivamente con digestión de agua regia para los 14 elementos. Las muestras se distribuyen de la siguiente manera: río Chillón 121 muestras, río Rímac 125 muestras y el río Lurín 34 muestras de sedimentos.

Cuenca del río Chillón

El río Chillón tiene sus nacientes en las inmediaciones del flanco occidental de la cordillera La Viuda, en las lagunas Pucacocha, Aguascocha y Chunchón, aproximadamente en la cota de 4600 msnm, y discurre con rumbo generalizado de NE - SO; sus afluentes más importantes son los ríos Yamacoto, Huancho, Ucaña y Quisquichaca.

Cuenca del río Rímac

Se encuentra ubicada en Lima, desembocando en la vertiente del Pacífico conjuntamente con los ríos Chillón y Lurín. Tiene una longitud de 160 Km y una cuenca de 3312 km²; de los cuales, 2237 km² es cuenca húmeda. La cuenca tiene 191 lagunas, de las cuales 89 han sido estudiadas. El río inicia su recorrido en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes a una altitud de 5508 msnm en el Nevado Paca, recorriendo las provincias de Lima y Huarochirí. Entre los tributarios encontramos a los ríos Santa Eulalia, San Mateo, Blanco y Surco.

Cuenca del río Lurín

Se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Lima. Tiene una extensión superficial de 1.719.963 km² y conforma el ámbito de influencia de Lima Metropolitana. La parte alta de esta cuenca se emplaza en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú. Políticamente, se localiza en el departamento de Lima, ocupando las provincias de Lima y Huarochirí.

III. GEOLOGÍA REGIONAL

En el área afloran rocas sedimentarias de naturaleza areniscas de edad Paleógeno que conforma la Formación Caudalosa y Formación. Sacsacero. El Grupo Rímac depositado en discordancia angular sobre el Grupo Casma es una secuencia volcánico-sedimentaria de edad Paleógeno-Neógena. El Batolito de la Costa constituido de rocas intrusivas plutónicas de edad Cretácea-Paleógeno-Neógena. Las calizas del cretáceo de la Formación Jumasha. Las Formaciones Chulec y Pariatambo del Cretáceo constituido de areniscas y cuarcitas. La Formación Chimú, constituido de lutitas de edad Cretácea; y, finalmente, aflora el Grupo Casma

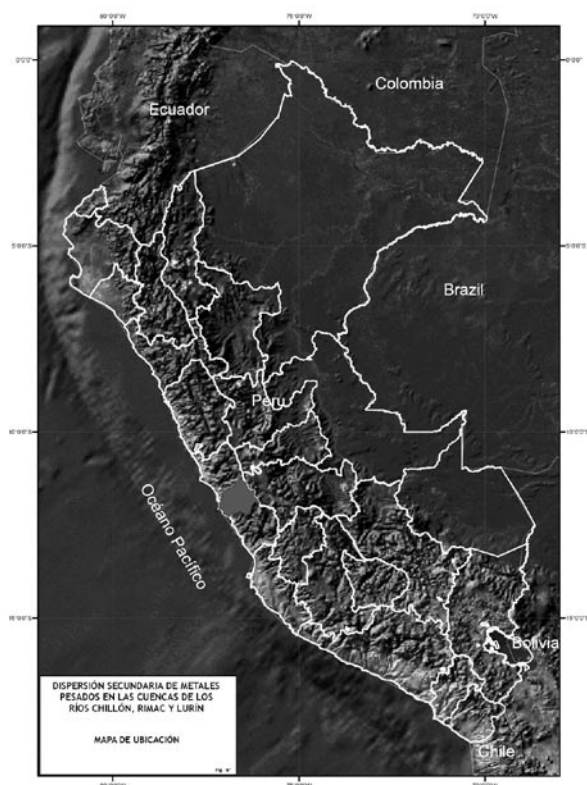


Fig. 1 Mapa de ubicación

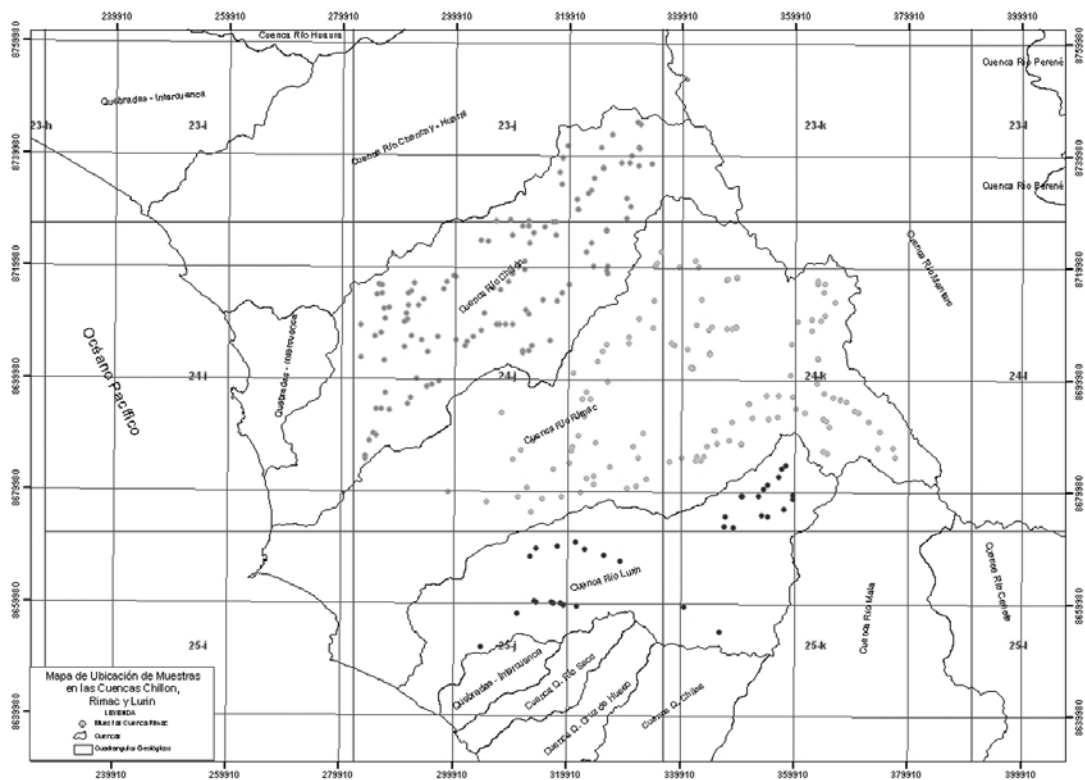


Fig. 2. Plano de Muestreo de sedimentos.

constituida de andesitas-sedimentos de edad Cretácea (Palacios, O, Caldas, J *et al.*, 1992).

A cada muestra se le asignó una unidad geológica predominante, como proveedora del sedimento de quebrada, dando como resultado, en esta área siete unidades litológicas con sus correspondientes edades. (Tabla 1)

IV. ANÁLISIS DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES

Análisis de Histogramas

El resultado de las pruebas Kolmogorov-Smirnov-Liliefors nos indica que de los 14 elementos, solo 5

elementos As, Cr, Ni, Pb, V, tienen una distribución normal en el río Chillón y los 9 restantes tienen distribución lognormal, en el río Rímac solo Cr, Fe, Ni, V tiene distribución normal y los 10 restantes distribución lognormal, y en el río Lurín Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Zn tienen distribución normal y los 7 restantes distribución lognormal. La distribución lognormal implica que para calcular la media corregida se debe transformar sus valores de abundancia en logaritmos.

Valores estadísticos regionales de las variables

Al realizarse el procesamiento estadístico de las muestras de los tres ríos, desde un punto de vista regional, es decir procesamiento de toda la data sin

Tabla 1. Nombre de las poblaciones.

Población	Nombre de la litología	Composición y Edad
1	Fm. Caudalosa, Fm. Sacsacero	Areniscas Paleógeno
2	Gpo. Calipuy, Gpo Rímac	Andesitas, tobas, dacitas Paleógenas-Neógenas
3	Batolito de la Costa	Intrusivos Cretáceo-Neógeno
4	Fm. Jumasha	Calizas Cretácicas
5	Fm. Chulec, Fm. Pariatambo	Areniscas, cuarcitas Cretácicas
6	Fm. Chimí	Lutitas Jurásico-Cretácicas
7	Gpo. Casma, Fm. Quilmana	Andesitas Cretácicas

discriminar los valores altos o bajos se obtuvo los siguientes datos:

Las medias de las variables tuvieron la siguiente secuencia, en orden de abundancia:

Zn> Pb> As> V> Cu> Cr> Hg> Ni> W> Sn> Sb>Mo> Cd,

Se observa que la media del Zn es la más alta y del Cd es la más baja.

V. NIVELES DE CONTENIDOS O ABUNDANCIAS DE LOS METALES PESADOS

Una vez eliminados los valores altos señalados por los Box Plots de cada río, se procedió al procesamiento estadístico para hallar los parámetros estadísticos

Con el análisis de la media, se ha hallado que los contenidos de los metales en los tres ríos se concentran de acuerdo a la siguiente secuencia:

Río Chillón: Zn>V >Cr>Cu>Pb>As>Ni>W>Sn>Hg>Fe>Sb>Mo>Cd

Río Rímac: Zn>V>Pb>Cr>Cu>As>Ni>Sn>W>Sb>Fe>Hg>Mo>Cd

Río Lurín: Zn>V>Cr>Cu>Pb>As>Ni>Sb>W>Sb>Fe>Hg>Mo>Cd

En donde se observa que el Zn-V son los metales más abundantes y el Mo-Cd los menos abundantes en los tres ríos; y los demás metales varían de ubicación en las secuencias. Asimismo, las medias de los metales reflejan la abundancia de los mismos de acuerdo al contenido en los sedimentos se concluye que en el río Rímac se concentran la mayoría de los metales, seguido por el río Chillón y, por último, el río Lurín presenta un comportamiento geoquímico menos contaminado.

Río Rímac: Zn, Pb As, W, Sn ,Fe, Sb Mo,Cd

Río Chillón: V, Cu, Ni, Hg

Río Lurín: Cr

VI. NIVELES DE CORRELACIÓN

El tratamiento estadístico incluyó, además, del coeficiente de correlación lineal de Pearson, el Análisis de Componentes Principales, con el propósito de encontrar un patrón geoquímico regional (Murray, K.; 1996) determinándose con una varianza acumulada mayor del 75% para los tres ríos: El ACP, que es un método lineal y de reducción de variables, permite la representación geométrica de individuos y variables.

Tal reducción es posible si las p variables son dependientes y con coeficientes de correlación no nulos.

• Río Chillón

Componente Principal 1: Se tiene una asociación Ni-Zn-Cd-Cu-Mo-Pb-, entre los cuales la correlación lineal es positiva ($r>0.5$); como elementos asociados Fe-V-Cr-Sn todos los elementos tienen correlación positiva.

• Río Rímac

Componente Principal 1: Se tiene una asociación Pb-Sb-Hg-Zn-Cd-As-Cu-, entre los cuales la correlación lineal es positiva ($r>0.5$); como elementos asociados Fe-Sn-W-Mo con ($r>0.5$) positiva. Todos los elementos tienen correlación positiva.

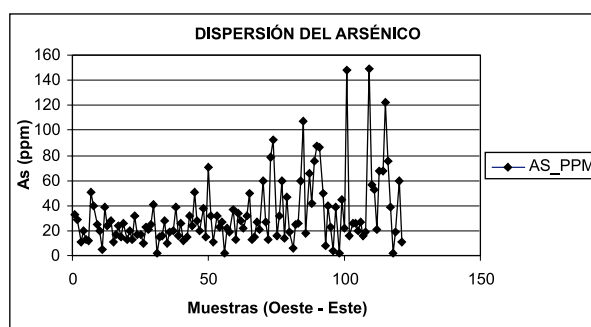
• Río Lurín

Componente Principal 1: Se tiene una asociación Pb-As-Cd-Sb-Hg-Zn-Mo-, entre los cuales la correlación lineal es positiva ($r>0.5$); como elementos asociados en oposición V-W-Cr-Sn con $r<0.5$ negativo.

VII. NIVELES DE DISPERSIÓN

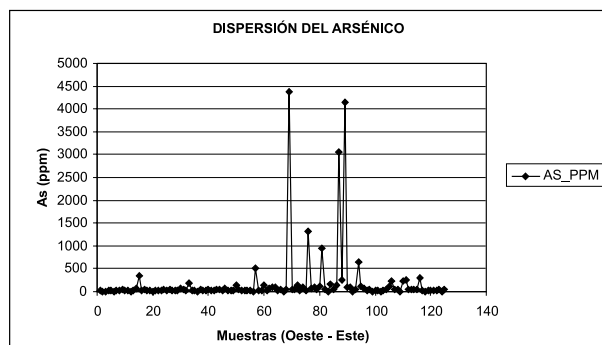
Río Chillón

La mayor dispersión de los metales y que alcanzan mayor concentración en el curso inferior son Sb, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, V, Zn, Sn, W; en su curso medio destaca la presencia del Cd y Hg en moderada concentración y el As tiene menor dispersión concentrándose en el curso superior.



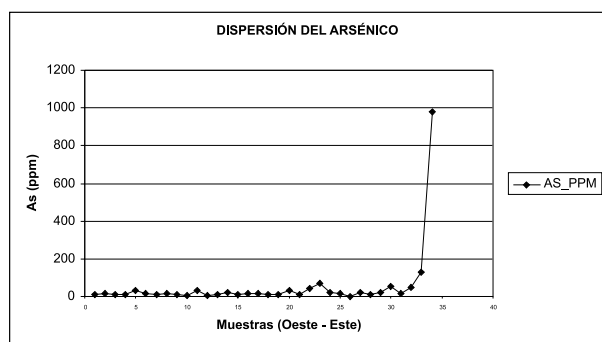
Río Rímac

La mayor dispersión y concentración de los metales se ubican en su curso inferior tales como Cu, Cr, Fe, Mo, Ni Pb, V; con moderada dispersión llegando hasta el curso medio están As, Cd, Sn, Hg, W, Zn; y el metal con menos dispersión es el Sb, concentrándose en el curso superior.



Río Lurín

En este río, los metales de mayor dispersión y concentración en su curso inferior están representados por Cu, Cr, Mo, Ni, Zn; con moderada dispersión se encuentra el Sn en el curso medio y con menor dispersión pero baja concentración en su curso superior se encuentran los metales Sb, As, Cd, Fe, Hg, Pb, V, W.



VIII. COMPARACIONES CON TABLA AMBIENTAL HOLANDESA

Comparando los contenidos de metales pesados en su percentil 90 de los tres ríos con la Tabla Holandesa (Vargas, L; Chira, J; 2006), se llega a la conclusión que el río Chillón sobrepasa los “niveles de intervención” en lo que respecta a los metales As, Sb, Hg y sobrepasa los niveles “target” el Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Zn. El río Rímac sobrepasa los niveles de intervención en los metales As, Cu, Hg, Zn y Sb; y en los niveles target en Cd, Cr, Pb, Mo. El río Lurín está sobrepasando el nivel de intervención con el As, Sb y los niveles de target Cd, Cr, Cu, Mo y Zn (tabla 2).

IX. EVOLUCIÓN DE LOS METALES PESADOS

• Río Chillón

En los sedimentos que representan al Grupo Casma (7) de edad Cretácea, predominan los metales Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn y en segundo orden Cd, Fe, Mo, V, W, Hg seguido de los sedimentos del Batolito de la Costa (3) de edad Cretácea a Neógeno con predominio de Cr, Fe, V, W, Hg, y en segundo orden Cu, Pb, Sb.

• Río Rímac

En los sedimentos que representan a la Formación Caudalosa (1) del Paleógeno, predominan los metales Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn; y en segundo orden, Cd, Cr; seguido de los sedimentos del Batolito de la Costa (3) de edad Cretácea a Neó-

Tabla 2. Legislación holandesa y ríos peruanos.

Metales	1983		2001		Ríos peruanos		
	Valor	Valor	Valor	Valor	Chillón	Rímac	Lurín
	Target	Intervención	Target	Intervención			
As	30	50	29	55	68	231	63
Cd	5	20	0.8	12	2	3.4	0.9
Cr	250	800	100	380	107	106	154
Cu	100	500	36	190	105	209	98
Pb	150	600	85	530	68.6	356	57
Hg	2	10	0.3	10	22	59	9
Mo	40	200	3	200	7.6	9	7
Ni	100	500	35	210	38	26	19
Sn	50	300	0	0	9	16.4	15.5
Zn	500	3000	140	720	269	786	199
Sb			3	15	68.6	356	57
V					317	274	167
W					9	20	14
Fe					6.62	7.19	5.82

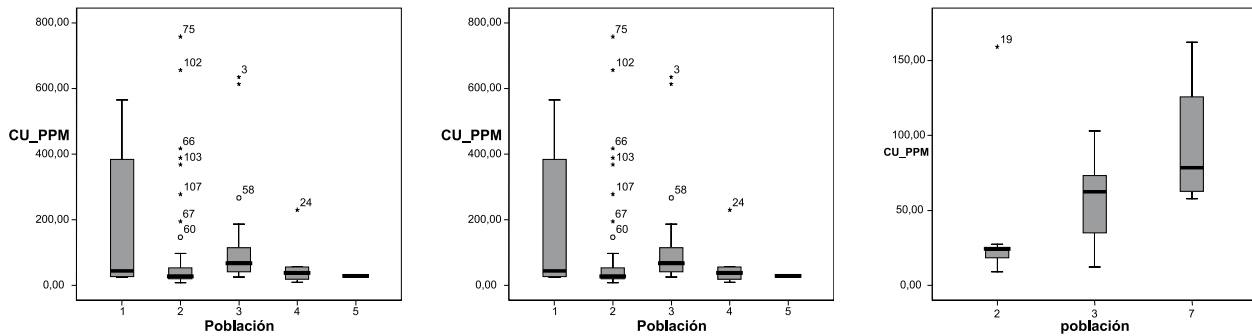


Fig. 3. Muestra la variación de la mediana del cobre en el tiempo en el río Chillón (izquierda), Rímac (centro) y Lurín (derecha).

geno con predominio de Cr, Fe, V; y en segundo orden, As, Cu, W, Hg. El Volcánico Calipuy del Paleógeno-Neógeno presenta abundancia de As, W, Hg; y en segundo orden, Fe, Pb.

• Río Lurín

En los sedimentos que representan al Volcánico Quilmaná (2) del Paleógeno, predominan los metales As, Cd, Fe, Pb, Sn, V, W, Zn; en segundo orden Ni, Hg; seguido de los sedimentos del Batolito de la Costa (3) de edad Cretácea a Neógeno con predominio de Cr, Mo, Ni, Hg; y en segundo orden As, Cd, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn, V, W. El Volcánico Casma del Cretáceo presenta abundancia de Cu; y en segundo orden Cr, Mo, Zn.

X. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Lo más resaltante de esta investigación es que se llegó a determinar el comportamiento geoquímico-geológico de los metales pesados en los sedimentos de los tres ríos y en las diversas litologías aflorantes en estas cuencas. Las hipótesis de trabajo se confirmaron con la realidad geológica en los sedimentos

A medida que se analizaban los resultados, surgieron nuevas interrogantes: ¿Cómo el contenido de metales pesados en los sedimentos pasaba al sistema hidrológico, en que proporción y en que tiempo? Es decir, hay que hacer análisis de nuevas muestras para determinar la biodisponibilidad de estos metales, que viene a ser el grado de disponibilidad por el cual un contaminante en una fuente potencial se halla libre para ser captado por un organismo, y que está en función de la geodisponibilidad, dispersión, movilidad, modo de exposición, especificación biológica y a la susceptibilidad individual de un organismo. Para ello, se debe determinar la geodisponibilidad, que viene a ser la porción del contenido total de elementos o compuestos de un material terrestre, en este caso, los sedimentos fluviales, que pueden ser liberados en el ambiente superficial a través de

procesos mecánicos, químicos y biológicos. La geodisponibilidad de un elemento o un compuesto está relacionada a la susceptibilidad y a la disponibilidad de sus facies minerales ante las reacciones de alteración o intemperismo.

XI. CONCLUSIONES

1. Los metales pesados, desde el punto de vista regional, tienen la siguiente secuencia por orden de abundancia, en donde se concluye que el Zn es el metal de mayor abundancia y el Cd es de menos abundancia:

$Zn > Pb > As > V > Cu > Cr > Hg > Ni > W > Sn > Sb > Mo > Cd$,

2. La abundancia de los metales pesados en los sedimentos se concentran de la siguiente manera: río Rímac: Zn-Pb-As-W-Sn-Fe-Sb-Mo-Cd; río Chillón: V, Cu, Ni, Hg; y el río Lurín: Cr. Los sedimentos del río Rímac están más contaminados y el río Lurín presenta un comportamiento geoquímico menos contaminado.
3. El Análisis de los Componentes Principales (ACP) determinó que cada río presenta un patrón geoquímico regional diferente debido principalmente a las diversas litologías predominantes en cada río. Además de un patrón geoquímico regional con una secuencia de mayor a menor correlación positiva.
4. La dispersión secundaria de los metales pesados tiene diferente comportamiento en los tres ríos, debido a las condiciones fisicoquímicas del transporte de los materiales; así, en el río Rímac, los metales tienen mayor movilidad; y en el río Lurín, sus condiciones no favorecen la movilidad de los metales.
5. Comparando los contenidos de metales en los sedimentos con los niveles establecidos en la Tabla Holandesa, se obtiene que los siguientes metales sobrepasan los niveles de intervención (contami-

nado o en peligro): El río Chillón contaminado de As-Sb-Hg; el río Rímac As-Cu-Hg-Zn-Sb, y en el río Lurín As-Sb.

6. En los sedimentos del Río Chillón, el Grupo Casma del Cretáceo aporta la mayoría de los metales y de acuerdo a la evolución de la abundancia el Cd-Cu-Mo-Fe-V-W, tienen tendencia a disminuir desde el Cretáceo al Neógeno, mientras el Cr-V-As tienen tendencia a incrementarse desde el Cretáceo al Neógeno, mientras que los otros metales permanecen constantes con el tiempo. En el río Rímac, la Formación Caudalosa del Paleógeno aporta la mayor cantidad de metales y de acuerdo a su evolución el Cu-Fe-Sb, tienen tendencia a disminuir desde el Cretáceo al Neógeno; mientras que el Cr-Mo-Ni-Sn aumenta en el Paleógeno y disminuyen en el Cretáceo; en tanto que los demás metales permanecen constantes. En el río Lurín, es el Volcánico Quilmana el que aporta la mayoría de los metales y, de acuerdo a la evolución, el Cu tiene tendencia a disminuir desde el Cretáceo al Neógeno, mientras que el Cr aumenta en el Paleógeno pero disminuye en el Neógeno y Cretáceo, los demás metales permanecen sin variación.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Smith, K.S.; Huyck, H.L. (1998) *An Overview of the abundance, relative mobility, Bioavailability and human toxicity of metal*. Edit. Plumlee GS Logsdon MJ. Society of Economic Geologist. Littleton Co. Reviews in Economy Geology 6A pp. 29-70.
2. UNESCO. (1995) *A Global Geochemical Database: for environmental and resource Management*. Earth Sciences 19 UNESCO publishing.
3. Palacios, O; Caldas, J. y Vela, CH. (1992) Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Boletín N.º 43, Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET: Lima. 163 p.
4. Murray, K.S. (1996) *Statistical comparisons of heavy metal concentrations in River sediment*. Environmental Geology 27, p. 54-58.
5. Vargas, L; Chira, J.J. (2006) *Dispersión geoquímica de metales pesados en la cuenca alta y media del río Chancay. Lambayeque y Cajamarca. Implicancias ambientales*. XIII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú. Resúmenes extendidos; p. 231-234